

44319-056

PATENT OFFICE  
JAPANESE GOVERNMENT

December 27, 2008  
McDermott, Will & Emery  
09/748/31  
願書類に記載されて

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office.

1999年12月27日

平成11年特許願第371266号

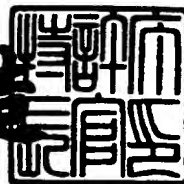
ミノルタ株式会社

**CERTIFIED COPY OF  
PRIORITY DOCUMENT**

2000年 9月 1日

特許  
Comm.  
Patent

及川耕造



山紅妥旦 山紅絨 2 0 0 0 2 2 2 2 2 5 0

【書類名】 特許願

【整理番号】 26128

【提出日】 平成11年12月27日

【あて先】 特許庁長官殿

【国際特許分類】 G01B 11/22

【発明の名称】 三次元形状データのデータ削減方法及びデータ削減装置

【請求項の数】 12

【発明者】

【住所又は居所】 大阪市中央区安土町二丁目 3 番 1 3 号 大阪国際ビル  
ミノルタ株式会社内

【氏名】 阿部 芳久

【特許出願人】

【識別番号】 000006079

【住所又は居所】 大阪市中央区安土町二丁目 3 番 1 3 号 大阪国際ビル

【氏名又は名称】 ミノルタ株式会社

【代理人】

【識別番号】 100067828

【弁理士】

【氏名又は名称】 小谷 悦司

【選任した代理人】

【識別番号】 100075409

【弁理士】

【氏名又は名称】 植木 久一

【選任した代理人】

【識別番号】 100096150

【弁理士】

【氏名又は名称】 伊藤 孝夫

【手数料の表示】

【予納台帳番号】 012472

【納付金額】 21,000円

【提出物件の目録】

【物件名】 明細書 1

【物件名】 図面 1

【物件名】 要約書 1

【包括委任状番号】 9716118

【プルーフの要否】 要

【書類名】 明細書

【発明の名称】 三次元形状データのデータ削減方法及びデータ削減装置

【特許請求の範囲】

【請求項 1】 ポリゴンモデルにおける 2 個以上の格子点を 1 個の格子点に集結させる対象となる複数の部分に対して当該集結によって生じる誤差を評価する評価値をそれぞれ算出し、これらの評価値に基づき上記格子点の集結対象部分のデータ削減を行なう処理を繰り返すことで上記ポリゴンモデルを構成する三次元形状データのデータ数を順次、削減する三次元形状データのデータ削減方法であって、上記格子点の集結処理が行なわれると、当該格子点の集結処理により影響を受けた格子点の集結対象部分のデータ削減処理を禁止することを特徴とする三次元形状データのデータ削減方法。

【請求項 2】 予め設定された所定の条件が満たされると、禁止された上記格子点の集結対象部分のデータ削減処理を解除することを特徴とする三次元形状データのデータ削減方法。

【請求項 3】 上記所定の条件は、上記評価値に基づくデータ削減可能な上記格子点の集結対象部分がなくなったことであることを特徴とする請求項 2 記載の三次元形状データのデータ削減方法。

【請求項 4】 上記所定の条件は、データ削減処理が所定の回数繰り返されることであることを特徴とする請求項 2 記載の三次元形状データのデータ削減方法。

【請求項 5】 ポリゴンモデルにおける 2 個以上の格子点を 1 個の格子点に集結させる対象となる複数の部分に対して当該集結によって生じる誤差を評価する評価値をそれぞれ算出する評価値算出手段と、上記評価値に基づきデータ削減を行なうべき上記格子点の集結対象部分を判定する判定手段と、上記判定手段により決定された格子点の集結対象部分のデータ削減処理を行なうデータ削減手段とを備え、上記格子点の集結対象部分の評価値を算出し、その評価値に基づき上記格子点の集結対象部分のデータ削減を繰り返し行なうことで上記ポリゴンモデルを構成する三次元形状データのデータ数を削減する三次元形状データのデータ削減装置であって、上記格子点の集結対象部分のデータ削減処理が行なわれると

、当該格子点の集結処理により影響を受けた格子点の集結対象部分のデータ削減処理を禁止する禁止手段を備えたことを特徴とする三次元形状データのデータ削減装置。

【請求項 6】 上記禁止手段は、上記判定手段で上記格子点の集結処理により影響を受けた格子点の集結対象部分がデータ削減処理の対象外と判定されるように、当該格子点の集結対象部分の評価値を一時的に所定の値に変更するものであることを特徴とする請求項 5 記載の三次元形状データのデータ削減装置。

【請求項 7】 請求項 5 又は 6 に記載の三次元形状データのデータ削減装置において、予め設定された所定の条件が満たされると、禁止された上記格子点の集結対象部分のデータ削減処理を解除する解除手段を更に備えたことを特徴とする三次元形状データのデータ削減装置。

【請求項 8】 上記所定の条件は、上記評価値に基づくデータ削減可能な上記格子点の集結対象部分がなくなったことであることを特徴とする請求項 7 記載の三次元形状データのデータ削減装置。

【請求項 9】 上記所定の条件は、データ削減処理が所定の回数繰り返されることであることを特徴とする請求項 7 記載の三次元形状データのデータ削減装置。

【請求項 10】 上記判定手段は、最小の評価値を算出する最小評価値算出手段と、上記最小の評価値を予め設定された所定の許容値と比較する比較手段とを備え、上記最小の評価値が上記許容値以下であるとき、当該最小の評価値を有する格子点の集結部分をデータ削減部分と判定するものであることを特徴とする請求項 5 ～ 7 のいずれかに記載の三次元形状データのデータ削減装置。

【請求項 11】 上記格子点の集結対象は、三角形ポリゴンモデルのエッジであることを特徴とする請求項 5 ～ 10 のいずれかに記載の三次元形状データのデータ削減装置。

【請求項 12】 上記格子点の集結対象は、三角形ポリゴンモデルの面であることを特徴とする請求項 5 ～ 10 のいずれかに記載の三次元形状データのデータ削減装置。

【発明の詳細な説明】

【 0 0 0 1 】

【発明の属する技術分野】

本発明は、ポリゴンモデルを構成する三次元形状データのデータ削減方法及びその方法を用いたデータ削減装置に関するものである。

【 0 0 0 2 】

【従来の技術】

例えば空間分解能の極めて高い三次元形状計測装置で得られる描画品質の高い計測データはデータ数が膨大であるため、必要以上の描画品質を備えている場合は、その後の処理において記憶装置への負担が大きく、処理速度も著しく低下するという問題が生じる。このため、計測データのデータ数を削減して上記問題をできる限り低減することが必要となる。

【 0 0 0 3 】

従来、三角形ポリゴンモデルにおいて、所望の許容誤差範囲内でモデルの近似化を図ることにより当該三角形ポリゴンモデルを構成する三次元形状データのデータ数を削減する方法が種々提案されている。

【 0 0 0 4 】

例えば論文「Surface Simplification Using Quadric Error Metrics」(Michael Garland and Paul S. Heckbert, Carnegie Mellon University Proceedings of SIGGRAPH 97, 1997) には、三角形ポリゴンモデルのエッジ又は面を構成する 2 個以上の格子点(三次元形状データ)を 1 個の格子点(三次元形状データ)に集結することにより三角形ポリゴンモデルを構成する三次元形状データのデータ数を削減する方法として、エッジ収縮もしくは面収縮により集結される格子点とエッジ収縮もしくは面収縮により影響を受けた最初の三角形ポリゴンモデルを構成する各平面との距離の離れ具合をデータ削減処理における誤差として管理し、この誤差が所定の許容誤差範囲内であるエッジ収縮もしくは面収縮の処理のみを行うことで、所定の許容誤差範囲内でデータ数の削減を行う方法が示されている。

【 0 0 0 5 】

このようなポリゴンモデルのエッジもしくは面を収縮させる方法では、例えば

1つのエッジを収縮させると、そのエッジ収縮により周辺のエッジ及び面の状態が変化するため、1本のエッジを収縮させる毎にエッジ収縮後のポリゴンモデルを構成する当該エッジ収縮により影響を受けたエッジについて再度、誤差が再計算された後、再計算後の誤差を用いて1本のエッジが決定され、そのエッジの収縮が行なわれる。そして、この処理を繰り返すことにより所定の許容誤差範囲内で三次元形状データのデータ数が削減されるようになっている。

## 【0006】

## 【発明が解決しようとする課題】

上記従来のエッジ収縮や面収縮のように収縮処理を行なう毎に収縮部分の周辺が影響を受けるデータ削減方法では、1のエッジ収縮もしくは面収縮を行なう毎に収縮後のポリゴンモデルを構成する当該エッジ収縮により影響を受けたエッジもしくは面について誤差を再計算する必要があるため、計算回数が多く、データ削減処理の速度が低下するという問題がある。

## 【0007】

本発明は、上記課題に鑑みてなされたものであり、高速処理が可能な三次元形状データのデータ削減方法及びそのデータ削減方法を用いたデータ削減装置を提供するものである。

## 【0008】

## 【課題を解決するための手段】

請求項1記載の発明は、ポリゴンモデルにおける2個以上の格子点を1個の格子点に集結させる対象となる複数の部分に対して当該集結によって生じる誤差を評価する評価値をそれぞれ算出し、これらの評価値に基づき上記格子点の集結対象部分のデータ削減を行なう処理を繰り返すことで上記ポリゴンモデルを構成する三次元形状データのデータ数を順次、削減する三次元形状データのデータ削減方法であって、上記格子点の集結処理が行なわれると、当該格子点の集結処理により影響を受けた格子点の集結対象部分のデータ削減処理を禁止するものである。

## 【0009】

また、請求項5記載の発明は、ポリゴンモデルにおける2個以上の格子点を1

個の格子点に集結させる対象となる複数の部分に対して当該集結によって生じる誤差を評価する評価値をそれぞれ算出する評価値算出手段と、上記評価値に基づきデータ削減を行なうべき上記格子点の集結対象部分を判定する判定手段と、上記判定手段により決定された格子点の集結対象部分のデータ削減処理を行なうデータ削減手段とを備え、上記格子点の集結対象部分の評価値を算出し、その評価値に基づき上記格子点の集結対象部分のデータ削減を繰り返し行なうことで上記ポリゴンモデルを構成する三次元形状データのデータ数を削減する三次元形状データのデータ削減装置であって、上記格子点の集結対象部分のデータ削減処理が行なわれると、当該格子点の集結処理により影響を受けた格子点の集結対象部分のデータ削減処理を禁止する禁止手段を備えたものである。

#### 【0010】

上記データ削減方法もしくはデータ削減装置によれば、ポリゴンモデルにおける2個以上の格子点を1個の格子点に集結させる対象となる複数の部分に対して当該集結によって生じる誤差を評価する評価値がそれぞれ算出され、これらの評価値に基づき1の格子点の集結対象部分のデータ削減処理が行なわれる。そして、この処理が繰り返されることによりポリゴンモデルを構成する三次元形状データのデータ数が順次、削減される。

#### 【0011】

この場合、データ削減処理が行なわれると、そのデータ削減処理により影響を受けた格子点の集結対象部分はその後のデータ削減処理が禁止され、影響を受けなかった格子点の集結対象部分について既に算出された評価値に基づき次のデータ削減が行なわれる。データ削減処理により影響を受けた格子点の集結部分について繰り返し評価値の再計算を行なわないので、この分、計算回数が低減される。

#### 【0012】

なお、予め設定された所定の条件が満たされると、禁止された上記格子点の集結対象部分のデータ削減処理を解除するようにするとよい（請求項2，7）。例えば上記評価値に基づくデータ削減可能な上記格子点の集結対象部分がなくなったりデータ削減処理が所定の回数繰り返されたとき、禁止された上記格子点

の集結対象部分のデータ削減処理を解除するとよい（請求項 3，4，8，9）。

【0013】

この構成によれば、例えば評価値に基づくデータ削減可能な上記格子点の集結対象部分がなくなったときやデータ削減処理が所定の回数繰り返されたとき等の所定の条件が満たされると、禁止された格子点の集結対象部分のデータ削減処理が解除される。

【0014】

従って、例えば格子点の集結対象部分がなくなったときを所定の条件とする場合、エッジ収縮を行なう毎に影響を受けた格子点の集結対象部分が次のエッジ収縮対象から除外され、格子点の集結対象部分がなくなると、全ての格子点の集結対象部分について評価値が再計算され、これらの評価値に基づき 1 の格子点の集結対象部分のデータ削減処理が行なわれる。そして、この処理が繰り返されることによりポリゴンモデルを構成する三次元形状データのデータ数が順次、削減される。

【0015】

また、請求項 6 記載の発明は、請求項 5 記載の三次元形状データのデータ削減装置において、上記禁止手段は、上記判定手段で上記格子点の集結処理により影響を受けた格子点の集結対象部分がデータ削減処理の対象外と判定されるように、当該格子点の集結対象部分の評価値を一時的に所定の値に変更するものである。

【0016】

上記構成によれば、エッジ収縮処理が行なわれると、当該エッジ収縮により影響を受けた格子点の集結対象部分の評価値が所定の値に置換される。この後、全ての評価値に基づいてエッジ収縮処理の対象が決定される場合、エッジ収縮により影響を受けた格子点の集結対象部分はデータ削減処理の対象外と判定されるため、実質的にエッジ収縮処理が禁止される。

【0017】

請求項 10 記載の発明は、請求項 5～7 のいずれかに記載の三次元形状データのデータ削減装置において、上記判定手段は、最小の評価値を算出する最小評価

値算出手段と、上記最小の評価値を予め設定された所定の許容値と比較する比較手段とを備え、上記最小の評価値が上記許容値以下であるとき、当該最小の評価値を有する格子点の集結部分をデータ削減部分と判定するものである。

【0018】

上記構成によれば、格子点の集結対象部分について算出された評価値の中から最小値が算出され、この最小値が所定の許容値以下であれば、当該最小評価値を有する格子点の結合対象部分のデータ削減処理が行なわれる。

【0019】

なお、上記三次元形状データのデータ削減装置において、上記格子点の集結対象は、三角形ポリゴンモデルのエッジもしくは面にするとよい（請求項 11，12）。

【0020】

【発明の実施の形態】

図 1 は、本発明に係るデータ削減方法を適用した三次元形状計測データの処理システムのブロック構成図である。

【0021】

同図に示す三次元形状計測データの処理システム（以下、形状データ処理システムという。）は、被測定物 G の三次元形状データを計測する三次元形状計測装置 1、三次元形状計測装置 1 で計測された三次元形状データを記憶する外部記憶装置 2、三次元形状計測装置 1 で計測された三次元形状データを本発明に係るデータ削減方法を用いて削減し、所定のデータ処理を行う形状データ処理装置 3、形状データ処理装置 3 で処理された三次元形状データを記憶する外部記憶装置 4、データ削減後の三次元形状データを用いて、例えばポリゴンモデル等の測定物 G の三次元形状画像を表示する表示装置 5 及び形状データ処理装置 3 で処理された三次元形状データが利用される CAD/CAM (computer aided design and computer aided manufacturing) 等の外部処理装置 6 から構成されている。

【0022】

三次元形状計測装置 1 は共役オートフォーカスシステムを用いて測定対象物 G の表面形状の計測を行うものである。三次元形状計測装置 1 は、図 2 に示すよう

に、照明光を発生する照明部 1 0 1、照明部 1 0 1 からの照明光を測定対象物 G に照射するとともに、測定対象物 G で反射した照明光を受光部 1 0 3 に導く共焦点型光学系 1 0 2、測定対象物 G を反射した照明光を受光し、電気信号に光電変換して出力する受光部 1 0 3、この共焦点型光学系 1 0 2（以下、光学系 1 0 2 と呼ぶ。）を透過した測定対象物 G からの反射光を分光して受光部 1 0 3 に導くビームスプリッタ 1 0 4 及び受光部 1 0 3 から出力される受光信号を用いて測定対象物 G の表面の位置座標を算出する演算部 1 0 5 からなる基本構成を有している。

#### 【 0 0 2 3 】

測定対象物 G の三次元形状は当該測定対象物 G を三次元形状装置 1 の前方に配置された測定テーブル 1 0 6 に載置し、当該測定テーブル 1 0 6 を高さ方向に所定のピッチで昇降させつつ、各高さ位置で測定対象物 G の表面の凹凸を計測することにより行なわれる。すなわち、測定対象物 G の高さ方向を Y 方向、光学系 1 0 2 の光軸方向を Z 方向、Y 方向及び Z 方向に直交する方向を X 方向とすると、測定対象物 G の Y 座標を所定のピッチで変化させつつ、各 Y 座標の位置で測定対象物 G の Z 座標を計測することにより測定対象物 G の三次元形状が計測される。そして、三次元形状計測装置 1 で計測された測定対象物 G の三次元形状データ（ $x$ 、 $y$ 、 $z$ ）は形状データ処理装置 3 に入力される。

#### 【 0 0 2 4 】

なお、三次元計測装置 1 は X 軸と平行に配置されたラインセンサからなる光電変換素子 1 0 3 a を備え、この光電変換素子 1 0 3 a の各画素毎（各画素位置が X 座標に相当）にその受光信号を用いて測定対象物 G の表面の位置座標（Z 座標）を計測するようになっている。このため、光電変換素子 1 0 3 a 全体に測定対象物 G からの反射光が入射されるように、照明部 1 0 1 からは X 方向に延びるスリット状の照明光が発光される。

#### 【 0 0 2 5 】

測定対象物 G の Z 座標は以下のように計測される。まず、光学系 1 0 2 の像側の焦点位置に配置された照明部 1 0 1 から X 方向に延びるスリット状の照明光を発光させる。この照明光は光学系 1 0 2 の物体側の焦点位置に集光され、その焦

点位置にX方向に延びるライン光が形成される。次に、この状態で光学系 1 0 2 の物体側の焦点位置（すなわち、ライン光）を光軸方向に当該焦点位置が測定対象物Gの内部に至るまで移動させつつ、所定の周期で光電変換素子 1 0 3 a の露光を繰り返す。そして、各露光位置で受光された受光信号のレベルを用いて、演算部 1 0 5 で最大レベルとなる露光位置を光電変換素子 1 0 3 a の各画素毎に算出し、その位置を測定対象物Gの表面のZ座標とする。

## 【 0 0 2 6 】

形状データ処理装置 3 は、ポリゴン生成部 3 1、データ削減部 3 2、許容値入力部 3 3 及びデータ出力部 3 4 を備えている。ポリゴン生成部 3 1 は三次元形状計測装置 1 から入力された測定対象物Gの三次元形状データ（x, y, z）に基づいて測定対象物Gのポリゴンモデルを生成するものである。データ削減部 3 2 はポリゴンモデルのエッジ収縮もしくは面収縮により三次元形状データの削減を行うものである。すなわち、図 3 に示すように、計測データに基づく精密なポリゴンモデル A を所定の許容誤差範囲内でポリゴンモデル B に近似化するように、ポリゴンモデル A の格子点（三次元形状データ）を適当に削減するものである。

## 【 0 0 2 7 】

データ削減部 3 2 は、後述するデータ削減処理を実行するため、評価値演算部 3 2 1、評価値ソート部 3 2 2 及びエッジ／面収縮処理部 3 2 3 を備えている。

## 【 0 0 2 8 】

評価値演算部 3 2 1 は、2 個以上の格子点を集結して 1 個の格子点に置換することによりポリゴンモデルを構成するエッジ又は面を収縮する（すなわち、ポリゴンモデルの近似化を図る）に当たり、各エッジ又は各面の収縮の可否を判定するための評価値を算出するものである。この評価値については後述する。

## 【 0 0 2 9 】

評価値ソート部 3 2 2 は評価値演算部 3 2 1 で各エッジ毎もしくは各面毎に算出された複数の評価値を小さい順もしくは大きい順に並べ替えることで最小の評価値を算出するものである。エッジ／面収縮処理部 3 2 3 は評価値ソート部 3 2 2 で算出された最小評価値を許容値入力部 3 3 から入力された許容値と比較し、許容値以下であるとき、その最小評価値に対応するエッジもしくは面の収縮処理

を行うものである。なお、評価値及びエッジ収縮方法については後述する。

【 0 0 3 0 】

許容値入力部 3 3 は上述のようにエッジ収縮もしくは面収縮の可否を判定するための許容値を操作者が入力するためのものである。この許容値はポリゴンモデルを近似化するに当たり、エッジ収縮もしくは面収縮を行ってもポリゴンモデルの特徴部分への影響が少ないとされる許容範囲に相当し、操作者によって測定対象物 G の形状に応じて適宜入力される。

【 0 0 3 1 】

データ出力部 3 4 はデータを削減された三次元形状データ（近似化されたポリゴンモデルを構成する三次元形状データ）を外部記憶装置 4、表示装置 5、外部処理装置 6 に出力するインターフェースである。

【 0 0 3 2 】

外部記憶装置 4 は磁気ディスク、光ディスク、磁気光ディスク等の外部記録媒体にデータを記録するもので、形状データ処理装置 3 から三次元形状データが入力されると、所定のファイル形式で外部記録媒体に記録する。

【 0 0 3 3 】

表示装置 5 はブラウン管、液晶表示デバイス等の電子ディスプレイ装置からなる表示装置である。表示装置 5 に形状データ処理装置 3 から三次元形状データが入力されると、そのデータに基づいて近似化された測定対象物 G のポリゴンモデルの画像が表示される（図 3 のポリゴンモデル B を参照）。

【 0 0 3 4 】

外部処理装置 6 は、例えば測定対象物 G の表面形状と略同一の形状を有する金型や模型を製作する装置である。外部処理装置 6 に形状データ処理装置 3 から三次元形状データが入力されると、その三次元形状データに基づいてワークが切削されて金型等が自動製作される。

【 0 0 3 5 】

次に、本発明に係るデータ削減方法を説明する。

【 0 0 3 6 】

図 4 はエッジ収縮によるデータ削減方法の概念図である。また、図 5 は面収縮

によるデータ削減方法の概念図である。

【0037】

エッジ収縮によるデータ削減方法は、図4に示すようにポリゴンモデルが格子点  $v_1 \sim v_{10}$  で構成されている場合、例えば格子点  $v_1$  と格子点  $v_2$  とを結ぶエッジ  $E d_{12}$  を収縮するように両格子点  $v_1, v_2$  を格子点  $v_1'$  に集結させてデータ数を削減する方法である。

【0038】

エッジ収縮によるデータ削減方法（以下、エッジ収縮法と略称する。）では、まず、全てのエッジ  $E d_{ij}$  ( $i, j = 1, 2, \dots, 10$ 。但し、 $i \neq j$  で格子点が互いに隣接する組合わせ) についてエッジ収縮によるポリゴンモデルの形状変化への影響を評価する評価値を算出し、最小の評価値が許容値以下である場合にその評価値に対応するエッジ  $E d_{ij}$  の両端の格子点  $v_i, v_j$  を所定の格子点  $v_i'$  に集結してデータの削減が行なわれる。

【0039】

次に、格子点  $v_i, v_j$  を格子点  $v_i'$  に集結したポリゴンモデル（近似化されたポリゴンモデル）について同様の方法でエッジの収縮が行われ、更にデータの削減が行なわれる。そして、以下同様の方法でエッジ収縮後のポリゴンモデルにつきエッジ収縮ができなくなるまで1つずつエッジ収縮を行って（すなわち、最小評価値が許容値よりも大きくなるまでポリゴンモデルの近似化を繰り返して）、データの削減が行われる。

【0040】

なお、格子点  $v_i'$  は、上述した論文「3次元ポリゴンモデルの階層的近似」に示されるように、例えばエッジ  $E d_{ij}$  の中点等の格子点  $v_i, v_j$  間の適所に設定される近似点である。

【0041】

面収縮によるデータ削減方法（以下、面収縮法と略称する。）は、図5に示すようにポリゴンモデルが格子点  $v_1 \sim v_{11}$  で構成されている場合、例えば格子点  $v_1$ 、格子点  $v_2$  及び格子点  $v_3$  で囲まれた面  $P_{123}$  を除去するように格子点  $v_1, v_2, v_3$  を格子点  $v_1'$  に集結させてデータ数を削減する方法である。

## 【0 0 4 2】

面収縮によるデータ削減方法も基本的にエッジ収縮によるデータ削減方法と同様の手順で行なわれる。すなわち、まず、全ての面  $P_{ijk}$  ( $i, j, k = 1, 2, \dots, 10$ 。但し、 $i \neq j \neq k$  で格子点が互いに隣接する組合わせ) について面収縮によるポリゴンモデルの形状変化への影響を評価する評価値を算出し、最小の評価値が許容値以下である場合にその評価値に対応する面  $P_{ijk}$  を構成する格子点  $v_i, v_j, v_k$  を所定の格子点  $v_i'$  に集結してデータの削減が行なわれ、以下同様の方法で面収縮後のポリゴンモデルにつき面収縮ができなくなるまで 1 つずつ面収縮を行ってデータの削減が行われる。

## 【0 0 4 3】

エッジ収縮法もしくは面収縮法によって三次元形状データを順次削減した場合、データ削減処理後の被測定物  $G$  を構成する三次元形状データは三次元形状計測装置 1 で実測された被測定物  $G$  の三次元形状データとは異なり、近似された三次元形状データとなる。このため、実測された三次元形状データで構成されるポリゴンモデル（以下、最初のポリゴンモデルという。）に対するデータ削減後のポリゴンモデル（以下、近似化されたポリゴンモデルという。）の誤差を管理しながらデータ削減処理を行う必要がある。

## 【0 0 4 4】

本実施形態に係るデータ削減方法では、例えばエッジ収縮を繰り返して、例えば図 6 に示すように格子点  $a, b, c$ （実測された三次元形状データ）がそれぞれ格子点  $a', b', c'$  に近似され、三角形ポリゴン  $P_{abc}$  が三角形ポリゴン  $P_{abc}'$  に近似されたとすると、近似後の三角形ポリゴン  $P_{abc}'$  を含む面がこの面の近似処理に関与する最初の格子点  $a, b, c$  から離れていく具合を誤差として管理するようにしている。

## 【0 0 4 5】

なお、図 6 の例では、説明の便宜上、近似処理に関与する格子点を格子点  $a, b, c$  としたが、実際の処理では、例えば格子点  $a$  が格子点  $a'$  に集結されていく過程で格子点  $a$  以外の格子点（実測データ）が含まれているので、上述した誤差にはこれらの格子点と三角形ポリゴン  $P_{abc}'$  との距離も含まれる。

【0 0 4 6】

次に、本実施形態に係るデータ削減方法に適用される誤差の評価値について説明する。

【0 0 4 7】

一般に、三次元空間における平面  $p$  は、

$$A \cdot x + B \cdot y + C \cdot z + D = 0 \quad \dots (1)$$

$$\text{但し、} A^2 + B^2 + C^2 = 1$$

の方程式で表される。

【0 0 4 8】

一方、三次元空間上の点  $v$  の座標を  $(v_x, v_y, v_z)$  とすると、点  $v$  と平面  $p$  との距離  $d$  は、

$$d = A \cdot v_x + B \cdot v_y + C \cdot v_z + D \quad \dots (2)$$

で算出され、行列式でベクトル表記すると、下記 (3) 式のようなになる。

【0 0 4 9】

【数 1】

$$d = P^T \cdot V \quad \dots (3)$$

$$\text{但し、} P = \begin{bmatrix} a \\ b \\ c \\ d \end{bmatrix} \quad V = \begin{bmatrix} v_x \\ v_y \\ v_z \\ 1 \end{bmatrix}$$

$P^T$  :  $P$  の転置行列

【0 0 5 0】

従って、距離  $d$  の 2 乗は、下記 (4) 式のようなになる。

【0 0 5 1】

【数 2】

$$d^2 = (P^T \cdot V)^2 = (P^T \cdot V) \cdot (V^T \cdot P) = P^T \cdot (V \cdot V^T) \cdot P = P^T \cdot K_V \cdot P \quad \dots (4)$$

$V^T$  :  $V$  の転置行列

$$K_V = V \cdot V^T$$

$$= \begin{bmatrix} v_x^2 & v_x v_y & v_x v_z & v_x \\ v_x v_y & v_y^2 & v_y v_z & v_y \\ v_x v_z & v_y v_z & v_z^2 & v_z \\ v_x & v_y & v_z & 1 \end{bmatrix}$$

【0 0 5 2】

上記 (4) 式は、1 つの平面  $p$  とこの平面  $p$  に含まれない 1 個の点  $v$  との距離  $d$  の 2 乗を示すものであるが、平面  $p$  に対して複数個の点  $v_1, v_2, \dots, v_m$  がある場合、これらの点  $v_i$  ( $i = 1, 2, \dots, m$ ) との距離の 2 乗和  $\Delta(p)$  は、下記 (5) 式のようにになる。

【0 0 5 3】

【数 3】

$$\Delta(p) = \sum_{i=1}^m d_i^2 = \sum_{i=1}^m (P^T \cdot K_{V_i} \cdot P) = P^T \cdot \sum_{i=1}^m K_{V_i} \cdot P \quad \dots (5)$$

【0 0 5 4】

本実施形態に係るデータ削減方法においては、例えばエッジ収縮によりデータ削減をする場合、あるエッジの収縮によって影響を受けるポリゴンモデルの平面が  $n$  枚あるとする場合、それらの平面の全てについて、各平面とその平面への近似化のためにデータ削減処理に関与した複数個の最初の格子点（元の三次元形状データ）との距離の離れ具合を評価するようにしているので、各平面毎に上記 (5) 式によって算出される距離の 2 乗和  $\Delta(p)$  を算出し、これらの総和をデータ削減処理に関与した全ての格子点の総数  $M$  で除した、下記 (6) 式で示される  $\varepsilon$  を誤差の評価値としている。

【0 0 5 5】

【数 4】

$$\varepsilon = \frac{\sum_{i=1}^n \Delta(p_i)}{M} = \frac{\sum_{i=1}^n \Delta(p_i)}{\sum_{i=1}^n m_i} \quad \dots (6)$$

【0 0 5 6】

なお、上記（6）式において、 $\Delta(p_i)$  は、 $i$  番目の平面  $p_i$  に対する当該平面  $p_i$  の近似化に寄与した全ての最初の格子点との距離の 2 乗和であり、 $m_i$  はその距離の 2 乗和における項数である。

【0 0 5 7】

また、上記（6）式の演算処理においては、行列  $K v_i$  は上記（4）式で示したように対称行列となるので、最初の格子点  $v_i$  について算出される行列  $K v_i$  は、対角元素とその対角元素より上側の元素とをメモリに記憶させるようにするとよい。このようにすれば、演算処理に必要なメモリ容量を低減することができる。また、上記（6）式の分子の各要素  $m_i$  は  $i$  番目の近似面  $p_i$  における距離の 2 乗和の項数であるが、行列  $K v$  の右下隅の元素は常に「1」であり、この距離の 2 乗和の演算結果における行列  $\Sigma K v$  の右下隅の元素は  $m_i$  となるから、この元素の値を利用して上記（6）式の演算を行うようにするとよい。このようにすれば、改めて項数  $m_i$  を算出する必要がなく、演算処理が容易となる。

【0 0 5 8】

なお、上記（5）式をある平面  $p$  に対する誤差の評価に適用した場合、当該平面  $p$  に至るエッジ収縮もしくは面収縮の処理過程で関与した最初の格子点  $v_i$  が特定されると、それらの格子点  $v_i$  の三次元形状データから得られる行列  $K v_i$  を加算した  $\Sigma K v_i$  はそのエッジ収縮もしくは面収縮における誤差の程度が示すパラメータとなる。そこで、以下の説明ではこの  $\Sigma K v_i$  を誤差行列と呼ぶ。

【0 0 5 9】

次に、三次元形状データのデータ削減処理の手順について、図 7 のフローチャートを用いて説明する。

【0 0 6 0】

三次元形状計測装置 1 により取り込まれた測定対象物 G の三次元形状データは、形状データ処理装置 3 に入力され、まず、ポリゴン生成部 3 1 で三角形のポリゴンモデルが生成される（# 1）。また、操作者により許容値入力部 3 3 からエッジ収縮処理の可否を判定するための許容値が入力される（# 3）。

【0 0 6 1】

続いて、評価値演算部 3 2 1 で最初のポリゴンモデルの全エッジについてエッジ収縮した場合の評価値  $\varepsilon_j$  ( $j = 1, 2, \dots, N$ ,  $N$  はエッジ総数) が上記 (6) 式により算出される（# 5）。例えば図 4 の例では、エッジ  $E d_{1r}$  ( $r = 2 \sim 5, 9, 10$ )、 $E d_{2s}$  ( $s = 5, 6, \dots, 9$ )、 $E d_{tt+1}$  ( $t = 3, 4, \dots, 10$ 、但し、 $t + 1 = 11$  は  $t + 1 = 3$  とする。) についてエッジ収縮した場合の評価値  $\varepsilon_j$  ( $j = 1, 2, \dots, 19$ ) が算出される。

【0 0 6 2】

このとき、例えば格子点  $v_1, v_2$  を格子点  $v_1'$  に集結してエッジ  $E d_{12}$  を収縮した場合、最初の面は全て変形し、格子点  $v_1'$  とエッジ収縮に関係しない格子点  $v_3 \sim v_{10}$  とによって 8 枚の平面面  $p_1, p_2, \dots, p_{10}$  (以下、変形後の平面を近似面という。) が形成されるが、これらの近似面  $p_k$  ( $k = 1, 2, \dots, 8$ ) についてそれぞれ距離の 2 乗和  $\Delta(p_k)$  ( $k = 1, 2, \dots, 8$ ) が算出されるとともに、これらの距離の 2 乗和  $\Delta(p_k)$  全体に含まれる要素の総数  $M$  が算出され、上記 (6) 式によりエッジ  $E d_{12}$  の収縮処理における評価値  $\varepsilon(E d_{12})$  が算出される。なお、評価値  $\varepsilon(E d_{12})$  は下記 (7) 式のようにになる。

【0 0 6 3】

【数 5】

$$\varepsilon(E d_{12}) = \frac{\{\Delta(p_1) + \Delta(p_2) + \dots + \Delta(p_8)\}}{(m_1 + m_2 + \dots + m_8)} \quad \dots (7)$$

【0 0 6 4】

このとき、例えば平面  $p_1$  は格子点  $v_1', v_3, v_4$  によって構成されるが、格子点  $v_1, v_2, v_3, v_4$  が実測データである場合はエッジ収縮に関与した格子点

は  $v_1, v_2$  だけであるから、距離の 2 乗和  $\Delta(p_1)$  はこれらの格子点  $v_1, v_2$  についての誤差行列  $(K v_1 + K v_2)$  を用いて上記 (5) 式により算出される。この状態で格子点  $v_1'$  が更に他の格子点  $v_m$  (図示しない実測データ) とともに格子点  $v_1''$  (図示していない) に集結されて近似面  $p_1$  が近似面  $p_1'$  (図示していない) に近似された場合、この近似面  $p_1'$  に至るエッジ収縮に関与した格子点は  $v_1, v_2, v_m$  となるから、距離の 2 乗和  $\Delta(p_1')$  はこれらの格子点  $v_1, v_2, v_m$  についての誤差行列  $(K v_1 + K v_2 + K v_m)$  を用いて上記 (5) 式により算出されることになる。

【0 0 6 5】

この 2 回目のエッジ収縮では、実質的に格子点  $v_1'$  の誤差行列  $K v_1'$  を  $(K v_1 + K v_2)$  として格子点  $v_1'$  の誤差行列  $K v_1'$  と格子点  $v_m$  の誤差行列  $K v_m$  とで上記 (5) 式により距離の 2 乗和  $\Delta(p_1')$  を算出することになる。

【0 0 6 6】

従って、エッジ収縮処理の過程における一般論では、図 4 において、格子点  $v_1', v_2', v_3', v_4$  を実測データでなく、エッジ収縮によって生成されたデータであるとすれば、各格子点  $v_1', v_2', v_3', v_4$  に対する誤差行列をそれぞれ  $K v_1', K v_2', K v_3', K v_4$  とすると、近似面  $p_1$  を構成する格子点  $v_1'$  に対する誤差行列  $K v_1'$  を  $K v_1' = K v_1 + K v_2$  とし、近似面  $p_1$  を構成する 3 個の格子点  $v_1', v_3', v_4$  の誤差行列  $K v_1', K v_3', K v_4$  を加算して得られる誤差行列  $K_{p_1} (= K v_1' + K v_3 + K v_4 = K v_1 + K v_2 + K v_3 + K v_4)$  を用いて上記 (5) 式により近似面  $p_1$  について距離の 2 乗和  $\Delta(p_1)$  が算出される。

【0 0 6 7】

なお、距離の 2 乗和  $\Delta(p_1)$  の算出式は、

$$\Delta(p_1) = P_1^T \cdot K_{p_1} \cdot P_1 \quad \cdots (8)$$

となる。ここに、 $P_1$  は近似面  $p_1$  の列ベクトル表記、 $m_1$  は誤差行列  $K_{p_1}$  に含まれる誤差行列  $K v$  の総数である。

【0 0 6 8】

そして、近似面  $p_2, p_3, \cdots p_8$  についても上述した近似面  $p_1$  と同様の方法で距離の 2 乗和  $\Delta(p_2), \Delta(p_3), \cdots \Delta(p_8)$  が算出され、これらを上記

(7) 式に代入してエッジ  $E d_{12}$  の収縮における誤差評価値  $\varepsilon (E d_{12})$  が算出される。

## 【0069】

そして、同様の方法で他のエッジ  $E d_{1r}$ ,  $E d_{2s}$ ,  $E d_{tt+1}$  についてもエッジ収縮をした場合の誤差評価値  $\varepsilon (E d_{1r})$ ,  $\varepsilon (E d_{2s})$ ,  $\varepsilon (E d_{tt+1})$  が算出される。

## 【0070】

続いて、評価値ソート部 3 2 2 で誤差評価値  $\varepsilon_j$  のソーティングが行われ (#7)、最小の評価値  $\text{Min} \{ \varepsilon_j \}$  がステップ # 3 で入力された許容値以下であるか否かが判別される (#9)。最小評価値  $\text{Min} \{ \varepsilon_j \}$  が許容値よりも大きければ (#9でNO)、全てのエッジについてエッジ収縮した場合の形状変化が許容できない程大きいので、エッジ収縮によるデータ削減処理を終了する。一方、最小評価値  $\text{Min} \{ \varepsilon_j \}$  が許容値以下であれば (#9でYES)、エッジ/面収縮処理部 3 2 3 でその最小評価値  $\text{Min} \{ \varepsilon_j \}$  に対応するエッジの収縮処理が行われる (#11)。例えば図4において、最小評価値  $\text{Min} \{ \varepsilon_j \}$  が  $\varepsilon (E d_{12})$  であれば、同図に示すようにエッジ  $E d_{12}$  の収縮処理が行われる。

## 【0071】

続いて、エッジ収縮後のポリゴンモデルについて当該エッジ収縮処理の影響を受けたエッジについて再度、誤差評価値  $\varepsilon_q$  ( $q = 1, 2, \dots$ ) が算出された後 (#13)、ステップ # 7 に戻り、これらの誤差評価値  $\varepsilon_q$  のうち、最小の誤差評価値  $\text{Min} \{ \varepsilon_q \}$  が算出され、それに対応するエッジの収縮処理が行われる (#7 ~ #11)。以下、1本ずつエッジ収縮処理を繰り返し (#7 ~ #13のループ)、最小評価値  $\text{Min} \{ \varepsilon_q \}$  が許容値より大きくなった時点でデータ削減処理を終了する (#9でNO)。

## 【0072】

従って、このようなデータ削減処理を行うことにより、データ削減後のポリゴンモデルは、最初のポリゴンモデルに対して最初の計測データに対する誤差評価値  $\varepsilon$  が許容値以下となるように近似化される。

## 【0073】

上記のように本実施の形態にかかるデータ削減方法では、エッジ収縮もしくは面収縮により近似化されるポリゴンモデルの面が最初の格子点（計測された三次元形状データ）に対してどの程度の離れ具合となるかを誤差の評価値としているので、直感的にも解り易い評価基準でデータ削減処理を行うことができる。

【0074】

また、その評価値が所定の許容誤差範囲内となるようにデータ削減を行うようにしているので、近似後のポリゴンモデルを構成する三次元形状データの誤差を比較的正確に管理しつつデータ削減処理を高速に行うことができる。

【0075】

特に、計測された三次元形状データにランダムなノイズのデータが混入した場合や多数の格子点を1点に集結してデータ削減を行う場合にも誤差評価値の信頼性の低下を抑えることができる。

【0076】

図8及び図9は、計測された三次元形状データにランダムなノイズのデータが混入した場合の誤差評価方法を従来の誤差評価方法と比較したものである。

【0077】

図8は、ランダムなノイズのデータによってポリゴンモデルに不連続面が生じている部分（断面で表示している。）のエッジ収縮を示す図である。同図に示すように、ポリゴンモデル表面の不連続な凸凹が大きく生じている部分の格子点 $v_1$ 、 $v_2$ を略中心の格子点 $v_1'$ に集結した場合、上記従来の論文「Surface Simplification Using Quadric Error Metrics」に示されるデータ削減方法では、図9に示すように格子点 $v_1'$ から、例えば格子点 $v_1$ 、 $v_4$ を含む面 $p_{14}$ と格子点 $v_2$ 、 $v_5$ を含む面 $p_{25}$ への距離 $d_1'$ 、 $d_2'$ を誤差評価の基礎としているので、感覚的な近似誤差に対して誤差評価値は小さい目に算出されるのに対し、本実施形態に係るデータ削減方法では、例えば格子点 $v_1$ 、 $v_2$ からの格子点 $v_1'$ 、 $v_4$ 、 $v_5$ を含む平面 $p_{45}$ への距離 $d_1$ 、 $d_2$ を誤差評価の基礎としているので、誤差評価値は感覚的な近似誤差に比較的合致し、小さい目に算出されることはない。

【0078】

図10、図11及び図12は、多数の格子点を1点に集結した場合の誤差評価方法を従来の誤差評価方法と比較したものである。

## 【0079】

図10は、8個の格子点 $v_1, v_2, \dots, v_8$ でジグザグな面（断面で表示している。）が形成されているポリゴンモデルの当該ジグザグ面の収縮を示す図である。同図に示すように、格子点 $v_1, v_2, \dots, v_6$ を格子点 $v_7, v_8$ の略中心の格子点 $v_1'$ に集結した場合、上記従来の論文「Surface Simplification Using Quadratic Error Metrics」に示されるデータ削減方法では、図11に示すように格子点 $v_1'$ から最初のポリゴンモデルのジグザグな各面 $p_{71}, p_{12}, p_{23}, p_{34}, p_{45}, p_{56}, p_{68}$ への距離 $d_1', d_2', \dots, d_6'$ を誤差評価の基礎としているので、感覚的な近似誤差に対して誤差の評価値は大きい目に算出されるのに対し、本実施形態に係るデータ削減方法では、例えば各格子点 $v_1, v_2, \dots, v_6$ からの格子点 $v_1', v_7, v_8$ を含む平面 $p_{78}$ への距離 $d_1, d_2, \dots, d_6$ を誤差評価の基礎としているので、誤差の評価値は感覚的な近似誤差に比較的合致し、大きい目に算出されることはない。

## 【0080】

図13は、三次元形状データのデータ削減処理手順の変形例を示すフローチャートである。

## 【0081】

図7に示すデータ削減処理手順では、エッジ収縮処理を行う毎にそのエッジ収縮により影響を受けたエッジについて再度、評価値 $\varepsilon$ を算出し、その評価値 $\varepsilon$ に基づいて次のエッジ収縮処理を行うようにしていたが、図13に示すデータ削減処理手順は、エッジ収縮により影響を受けたエッジについての評価値 $\varepsilon$ の演算を行わず、それ以外のエッジについてエッジ収縮を行うようにしたものである。

## 【0082】

具体的には、図13に示すフローチャートは、図7において、ステップ#13の処理を「エッジ収縮により影響を受けたエッジの収縮を禁止する」処理のステップ#13'に変更し、ステップ#9と「終了」の処理の間にステップ#15、#17の処理を追加したものである。

【0083】

そこで、以下の説明ではフローチャートの共通部分については簡単に説明し、異なる部分について詳細に説明する。

【0084】

三次元形状計測装置 1 により取り込まれた測定対象物 G の三次元形状データは、形状データ処理装置 3 に入力され、ポリゴン生成部 31 で三角形のポリゴンモデルが生成される（#1）。また、操作者により許容値入力部 33 からエッジ収縮処理の可否を判定するための許容値が入力される（#3）。

【0085】

続いて、評価値演算部 321 でポリゴンモデルの全エッジについてエッジ収縮した場合の評価値  $\varepsilon_j$  ( $j = 1, 2, \dots, N$ ,  $N$  はエッジ総数) が算出され（#5）、評価値ソート部 322 で誤差評価値  $\varepsilon_j$  のソーティングが行われて最小の評価値  $\text{Min} \{ \varepsilon_j \}$  が算出される（#7）。

【0086】

続いて、最小評価値  $\text{Min} \{ \varepsilon_j \}$  がステップ #3 で許容値以下であるか否かが判別され（#9）、最小評価値  $\text{Min} \{ \varepsilon_j \}$  が許容値以下であれば（#9 で YES）、エッジ／面収縮処理部 323 でその最小評価値  $\text{Min} \{ \varepsilon_j \}$  に対応するエッジの収縮処理が行われる（#11）。

【0087】

続いて、このエッジ収縮処理で影響を受けたエッジの収縮処理が禁止され（#13'）、ステップ #7 に戻る。この処理は、次のエッジ収縮処理を今回のエッジ収縮処理で影響を受けなかったエッジについて行うようにするためのものである。

【0088】

ステップ #7 に戻ると、エッジ収縮が禁止されたエッジ以外のエッジに対する評価値  $\varepsilon_q$  ( $q = 1, 2, \dots, Q$ 。但し、 $Q < N$ ) についてソーティングが行われ、最小評価値  $\text{Min} \{ \varepsilon_q \}$  が算出される（#7）。そして、最小評価値  $\text{Min} \{ \varepsilon_q \}$  が許容値以下であるか否かが判別され（#9）、最小評価値  $\text{Min} \{ \varepsilon_q \}$  が許容値以下であれば（#9 で YES）、エッジ／面収縮処理部 323 でその

最小評価値  $\text{Min} \{ \varepsilon_q \}$  に対応するエッジの収縮処理が行われ (#11)、更にこのエッジ収縮処理で影響を受けたエッジの収縮処理が禁止され (#13')、再度、ステップ #7 に戻る。

【0089】

そして、以下、同様の処理を繰り返し、エッジ収縮処理を行う毎にそのエッジ収縮で影響を受けたエッジを除外しつつ次のエッジ処理処理が行なわれる (#7, #9, #11, #13' のループ)。

【0090】

一方、上記エッジ収縮処理を繰り返す過程で、最小評価値  $\text{Min} \{ \varepsilon_q \}$  が許容値よりも大きいと (#9 で NO)、エッジ収縮が禁止されたエッジがあるかかが判別され (#15)、エッジ収縮が禁止されたエッジがあれば (#15 で YES)、それらのエッジについて再度、誤差評価値  $\varepsilon_r$  ( $r = 1, 2, \dots$ ) が算出された後 (#17)、ステップ #7 に戻り、これらの誤差評価値  $\varepsilon_r$  のうち、最小誤差評価値  $\text{Min} \{ \varepsilon_r \}$  が算出され、その最小誤差評価値  $\text{Min} \{ \varepsilon_r \}$  に対応するエッジの収縮処理が行われる (#7, #9, #11)。

【0091】

そして、上記エッジ収縮処理を繰り返し、最小評価値  $\text{Min} \{ \varepsilon_q \}$  が許容値よりも大きくなるとともに、エッジ収縮が禁止されたエッジもなくなると (#9, #15 で NO)、エッジ収縮によるデータ削減処理を終了する。

【0092】

図 14 は、図 13 に示す処理手順によるデータ削減プロセスの一例を示す図である。

【0093】

同図において、ポリゴンモデル  $M_0$  は最初のポリゴンモデルである。このポリゴンモデル  $M_0$  は 28 個の格子点  $v_1, v_2, \dots, v_{28}$  を各行の個数が (3, 4, 5, 4, 5, 4, 3) 個となるように 5 行に配列し、隣り合う格子点間を結んだものである。

【0094】

エッジ  $e_1, e_2, e_3, e_4, e_5$  は、各エッジ  $e_i$  ( $i = 1, 2, \dots, 5$ )

を収縮させた場合、互いにその影響を受けない関係にあるから、説明の便宜上、図 13 に示す処理手順によって順次、エッジ収縮されるものとして選択したものである。

## 【0095】

従って、図 14 のデータ削減プロセスは、図 13 の処理手順によってポリゴンモデル  $M_0$  がエッジ  $e_1, e_2, \dots, e_5$  の順に順次、エッジ収縮される場合を示している。そして、ポリゴンモデル  $M_1, M_2, M_3, M_4, M_5$  は、ポリゴンモデル  $M_0$  をエッジ  $e_1, e_2, \dots, e_5$  の順に収縮処理したときの近似化されたポリゴンモデルである。

## 【0096】

上述した図 13 に示すデータ削減処理手順によれば、まず、最初のエッジ収縮処理でエッジ  $e_1$  が収縮されてポリゴンモデル  $M_1$  に近似化されると、集結された格子点  $v_a$  とその周囲に配置される格子点  $v_9, v_{10}, v_{11}, v_{13}, v_{16}, v_{18}, v_{19}, v_{20}$  (ポリゴンモデル  $M_1$  の点線枠内の格子点) とで形成されるエッジが影響を受けることになるため、次のエッジ収縮処理では、これらのエッジを除外したエッジ (ポリゴンモデル  $M_1$  の点線枠の外にあるエッジ) について再度、評価値  $\varepsilon_q$  のソーティングが行なわれ、最小評価値  $\text{Min} \{ \varepsilon_q \}$  を有するエッジ  $e_2$  についてエッジ収縮処理が行われてポリゴンモデル  $M_2$  に近似化される。

## 【0097】

更に、次のエッジ収縮処理では、集結された格子点  $v_b$  とその周囲に配置される格子点  $v_1, v_2, v_4, v_6, v_8, v_{10}, v_{13}, v_a$  (ポリゴンモデル  $M_2$  の点線枠内の格子点) とで形成されるエッジが影響を受けることになるため、これらのエッジを除外したエッジ (ポリゴンモデル  $M_2$  の点線枠の外にあるエッジ) について再度、評価値  $\varepsilon_s$  のソーティングが行なわれ、最小評価値  $\text{Min} \{ \varepsilon_s \}$  を有するエッジ  $e_3$  についてエッジ収縮処理が行われてポリゴンモデル  $M_3$  に近似化される。

## 【0098】

そして、以下同様の方法でエッジ  $e_4, e_5$  についてもエッジ収縮が行なわれ、この 5 回のエッジ収縮処理により最初のポリゴンモデル  $M_0$  はポリゴンモデル

$M_5$ に近似化され、データ数は5個削減される。

【0 0 9 9】

最初のポリゴンモデル $M_0$ を6枚目のポリゴンモデル $M_6$ （図示せず。）まで近似化するプロセスを考えると、図13に示す処理手順ではエッジ収縮によって影響を受けたエッジについては評価値の再計算をしないので、図14の例では、最初のポリゴンモデル $M_0$ を構成する66本のエッジについて最初に評価値が計算されると、近似化されたポリゴンモデル $M_1 \sim M_4$ については評価値の再計算は行なわれず、次の再計算はポリゴンモデル $M_5$ を構成する50本のエッジについて行なわれることになる。従って、6枚目のポリゴンモデル $M_6$ までの評価値の再計算回数は50回となる。

【0 1 0 0】

一方、図7に示す処理手順ではエッジ収縮によって影響を受けたエッジについて評価値の再計算を行っているので、近似化された各ポリゴンモデル $M_1 \sim M_5$ 毎にエッジ収縮によって影響を受ける16本のエッジについて評価値の再計算をすることになる。従って、図7に示す処理手順では、6枚目のポリゴンモデル $M_6$ までの評価値の再計算回数は $16 \times 5 = 80$ 回となり、図13に示す処理手順の方が評価値の再計算回数が少なくなり、高速処理が可能になるという利点がある。

【0 1 0 1】

図15は、図13に示すフローチャートの変形例である。

【0 1 0 2】

図15に示すフローチャートは、エッジ収縮後に影響を受けたエッジの評価値を許容値よりも大きい所定の評価値 $\epsilon_{\max}$ に置換することにより次のエッジ収縮ではそのエッジを実質的にエッジ収縮の対象外となるようにしたものである。

【0 1 0 3】

具体的には、図13のフローチャートにおいて、ステップ#13'を「エッジ収縮により影響を受けたエッジの評価値を $\epsilon_{\max}$ に設定する」処理のステップ#13"に変更するとともに、ステップ#15の判定対象及びステップ#17の評価値再計算の対象を「評価値が $\epsilon_{\max}$ のエッジ」に変更し、ステップ#17'の

後に評価値再計算後のエッジに対するエッジ収縮処理を行うステップ#19, #21の処理を追加したものである。

#### 【0104】

そこで、以下の説明では図13のフローチャートと異なる部分について詳細に説明する。

#### 【0105】

ステップ#11でエッジ/面収縮処理部323により最小評価値 $\text{Min}\{\varepsilon_j\}$ に対応するエッジの収縮処理が行われると、このエッジ収縮処理で影響を受けたエッジの評価値が許容値よりも大きい所定の評価値 $\varepsilon_{\max}$ に設定され(#13)、ステップ#7に戻る。この処理は、これらのエッジが次のエッジ収縮処理で対象外となるようにする、すなわち、エッジ収縮処理で影響を受けなかったエッジについてのみエッジ収縮が行なわれるようにするためのものである。

#### 【0106】

ステップ#7に戻ると、再度、評価値 $\varepsilon_i$  ( $i=1, 2, \dots, N-1$ ) のソーティングが行われ、最小評価値 $\text{Min}\{\varepsilon_i\}$  が算出される(#7)。そして、最小評価値 $\text{Min}\{\varepsilon_i\}$  が許容値以下であるか否かが判別され(#9)、最小評価値 $\text{Min}\{\varepsilon_i\}$  が許容値以下であれば(#9でYES)、エッジ/面収縮処理部323でその最小評価値 $\text{Min}\{\varepsilon_i\}$  に対応するエッジの収縮処理が行われる(#11)。

#### 【0107】

続いて、このエッジ収縮処理で影響を受けたエッジの評価値が評価値 $\varepsilon_{\max}$ に設定され(#13)、再度、ステップ#7に戻る。以下、同様の処理を繰り返し、エッジ収縮処理を行う毎にそのエッジ収縮で影響を受けたエッジの評価値を評価値 $\varepsilon_{\max}$ に設定しつつ次のエッジ処理処理が行なわれる(#7, #9, #11, #13)のループ)。

#### 【0108】

一方、上記エッジ収縮処理を繰り返す過程で、最小評価値 $\text{Min}\{\varepsilon_i\}$  が許容値よりも大きくなると(#9でNO)、評価値 $\varepsilon_{\max}$ を有するエッジがあるか否かが判別され(#15)、評価値 $\varepsilon_{\max}$ を有するエッジがあれば(#15)

でYES)、それらのエッジについて再度、誤差評価値  $\varepsilon_s$  ( $s = 1, 2, \dots$ ) が算出される (# 1 7' )。

【0 1 0 9】

そして、ソーティングによりこれらの誤差評価値  $\varepsilon_s$  のうち、最小の誤差評価値  $\text{Min} \{ \varepsilon_s \}$  が算出され (# 1 9)、その最小評価値  $\text{Min} \{ \varepsilon_i \}$  が許容値以下であれば (# 2 1 でYES)、ステップ # 1 1 に移行して上述したその最小評価値  $\text{Min} \{ \varepsilon_i \}$  に対応するエッジの収縮処理が行われる。

【0 1 1 0】

一方、上記エッジ収縮処理を繰り返し、評価値  $\varepsilon_{\max}$  を有するエッジがなくなるか (# 1 5' でYES)、あるいは評価値  $\varepsilon_{\max}$  を有するエッジについて再計算された評価値  $\varepsilon_s$  のうち、最小評価値  $\text{Min} \{ \varepsilon_s \}$  が許容値よりも大きくなると (# 2 1 でNO)、エッジ収縮によるデータ削減処理を終了する。

【0 1 1 1】

図 1 5 に示す処理手順もエッジ収縮により影響を受けるエッジの評価値を許容値よりも大きい評価値  $\varepsilon_{\max}$  に設定することで、実質的に図 1 3 の処理手順に示す当該エッジの収縮を禁止するようにしているので、評価値の再計算回数が低減され、高速処理が可能となる。

【0 1 1 2】

なお、図 1 3、図 1 5 に示すデータ削減の処理手順では、エッジ収縮処理により影響を受けた部分については、エッジ収縮処理が禁止された部分が全てなくなるまで、評価値の再計算をせず、エッジ収縮処理の対象外とするようにしているが、例えばエッジ収縮処理が所定の回数だけ繰り返されたときや評価値の最小値と許容値との差が所定の範囲内になったとき等の所定の条件が満たされると、エッジ収縮処理の禁止を解除し、全てのエッジについて評価値の再計算を行なって、再度、エッジ収縮を可能にするようにしてもよい。

【0 1 1 3】

このようにすれば、エッジ収縮処理が禁止された部分に許容誤差内でデータ削減処理が可能な部分が残っている場合にもその部分についてデータ削減処理が可能になり、許容範囲内で可能な限り効率良くデータ削減を行うことができる。

## 【0 1 1 4】

また、図 1 3、図 1 5 に示すデータ削減の処理手順は、評価値の再計算回数を低減し、処理速度の高速化を図るものであるもので、評価値は、上述の (6) 式で示した誤差  $\varepsilon$  に限定されるものではない。エッジ収縮もしくは面収縮により評価値が変化し、収縮後に再計算が必要となるような評価値、例えば上述の論文「Surface Simplification Using Quadric Error Metrics」に示される評価値を採用している場合にも広く適用することができる。

## 【0 1 1 5】

また、上記実施の形態では三次元形状計測装置 1 で計測された三次元計測データのデータ削減を例に説明したが、本発明はこれに限定されるものではなく、コンピュータグラフィックス等で創作された三次元データについても広く適用することができる。

## 【0 1 1 6】

## 【発明の効果】

以上説明したように、本発明によれば、ポリゴンモデルにおける 2 個以上の格子点を 1 個の格子点に集結させる対象となる複数の部分に対して当該集結によって生じる誤差を評価する評価値をそれぞれ算出し、これらの評価値に基づき格子点の集結対象部分のデータ削減を行なう処理を繰り返すことでポリゴンモデルを構成する三次元形状データのデータ数を順次、削減する三次元形状データのデータ削減方法であって、格子点の集結処理が行なわれると、当該格子点の集結処理により影響を受けた格子点の集結対象部分のデータ削減処理を禁止するようにしたので、格子点の集結対象部分の評価値の再計算回数が低減され、データ削減処理の高速化が可能となる。

## 【0 1 1 7】

また、データ削減により影響を受けた格子点の集結対象部分の評価値を所定の値に変更して次のデータ削減処理では集結対象外となるようにしたので、当該格子点の集結対象部分のデータ削減処理を簡単に禁止させることができる。

## 【0 1 1 8】

また、所定の条件が満たされると、禁止された格子点の集結対象部分のデータ

削減処理を解除するようにしたので、許容範囲内で可能な限り効率良くデータ削減を行うことができる。

【図面の簡単な説明】

【図 1】

本発明に係るデータ削減方法を適用した三次元形状計測データ処理システムの構成を示すブロック図である。

【図 2】

形状データ処理装置の構成を示すブロック図である。

【図 3】

データ削減によるポリゴンモデルの近似化の一例を示す図である。

【図 4】

エッジ収縮によるデータ削減方法の概念図である。

【図 5】

面収縮によるデータ削減方法の概念図である。

【図 6】

本実施形態に係るデータ削減方法に適用される評価値を説明するための図である。

【図 7】

三次元形状データのデータ削減処理の手順を示すフローチャートである。

【図 8】

ランダムなノイズのデータによってポリゴンモデルに不連続面が生じている部分のエッジ収縮を示す図である。

【図 9】

図 8 に示すデータ削減処理における本実施形態に係る誤差評価値と従来の誤差評価値との差異を説明するための図である。

【図 10】

ジグザグな面を有するポリゴンモデルの当該ジグザグ面の収縮を示す図である。

【図 11】

図 1 0 に示すデータ削減処理における従来の誤差評価値を説明するための図である。

【図 1 2】

図 1 0 に示すデータ削減処理における本実施形態に係る誤差評価値を説明するための図である。

【図 1 3】

三次元形状データのデータ削減処理手順の他の実施形態を示すフローチャートである。

【図 1 4】

図 1 3 に示す処理手順によるデータ削減プロセスの一例を説明するための図である。

【図 1 5】

図 1 3 に示すフローチャートの変形例を示す図である。

【符号の説明】

- 1 三次元形状計測装置
  - 1 0 1 照明部
  - 1 0 2 共焦点型光学系
  - 1 0 3 受光部
  - 1 0 4 ビームスプリッタ
  - 1 0 5 演算部
  - 1 0 6 測定テーブル
- 2, 4 外部記憶装置
- 3 形状データ処理装置（データ削減装置）
  - 3 1 ポリゴン生成部
  - 3 2 データ削減部
    - 3 2 1 評価値演算部（評価値算出手段、禁止手段、解除手段）
    - 3 2 2 評価値ソート部
    - 3 2 3 エッジ／面収縮処理部（判定手段、データ削減手段）
  - 3 3 許容値入力部

3 4 データ出力部

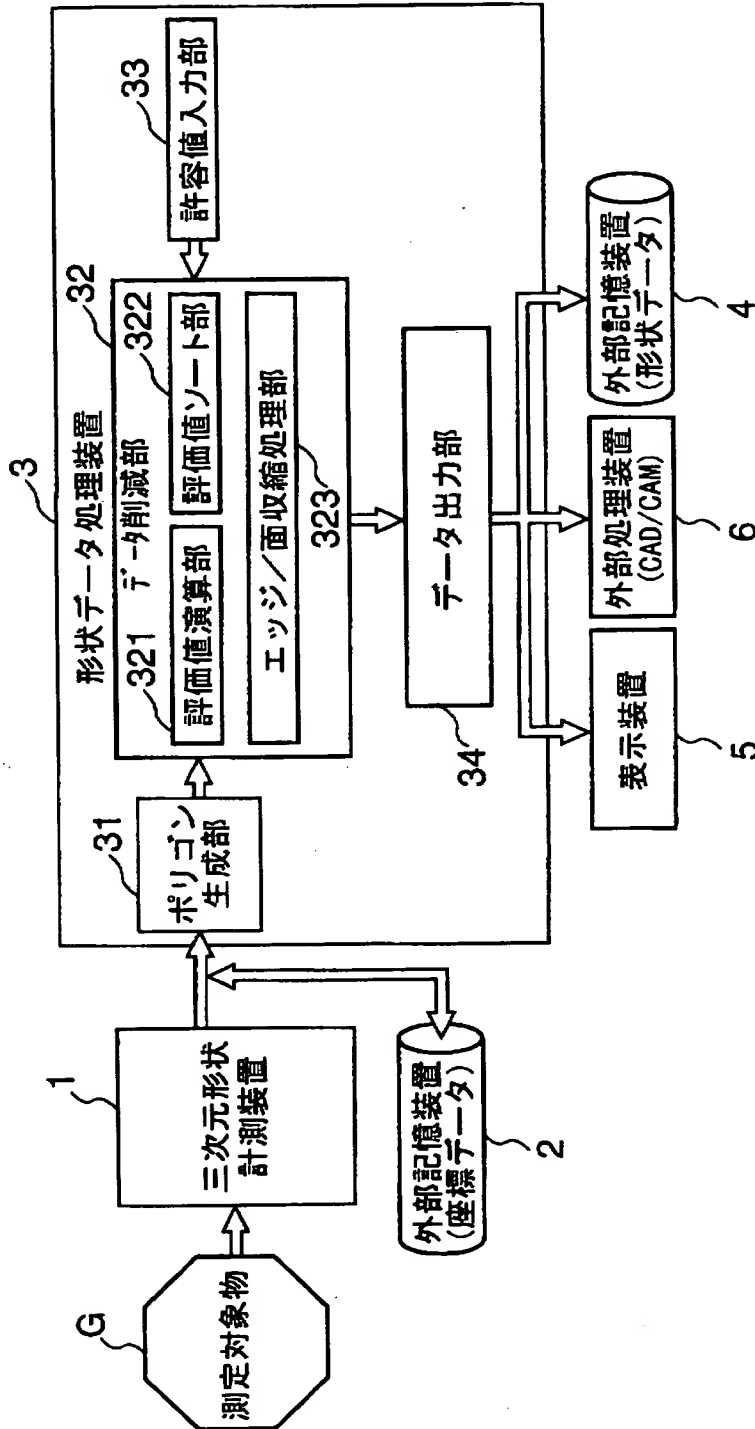
5 表示装置

6 外部処理装置

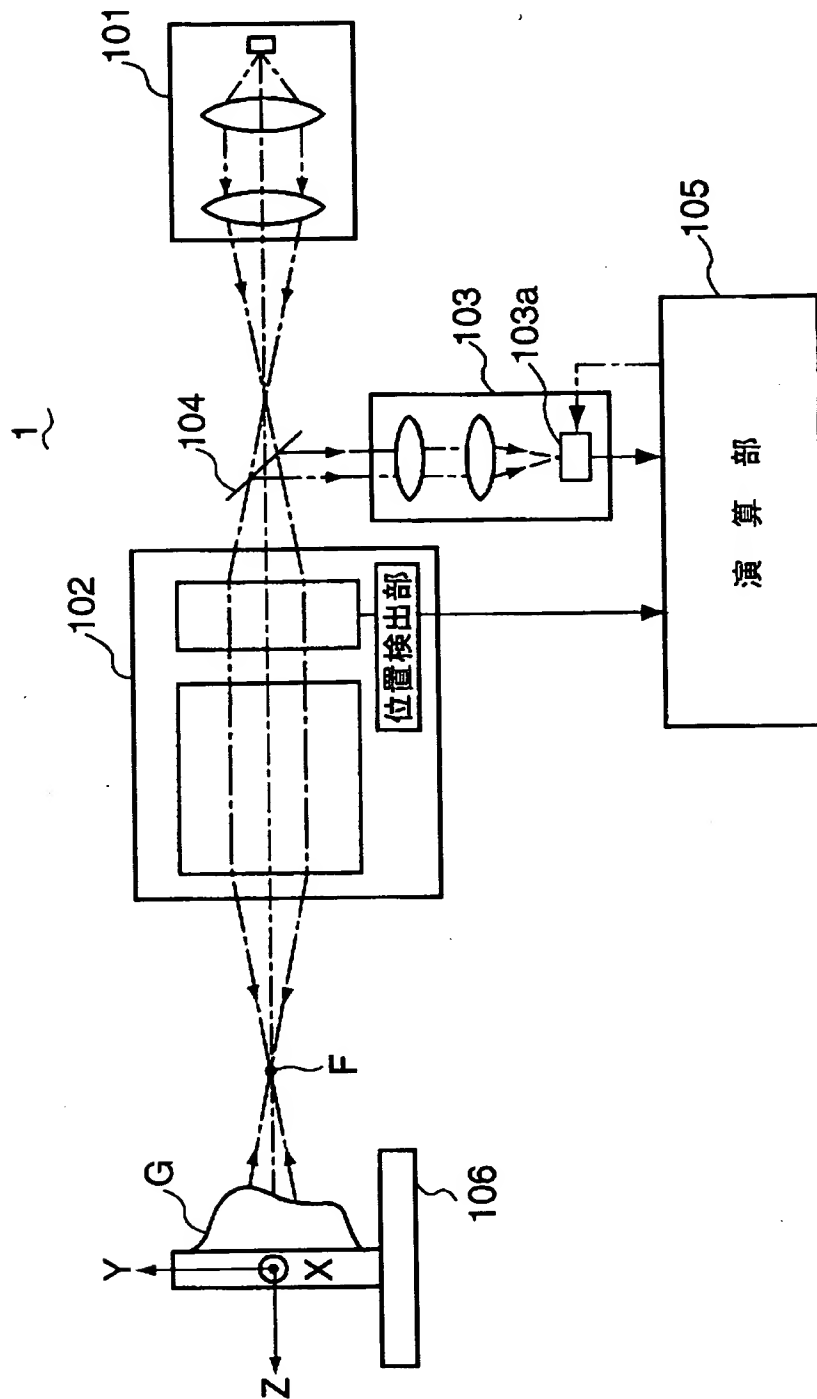
【書類名】

図面

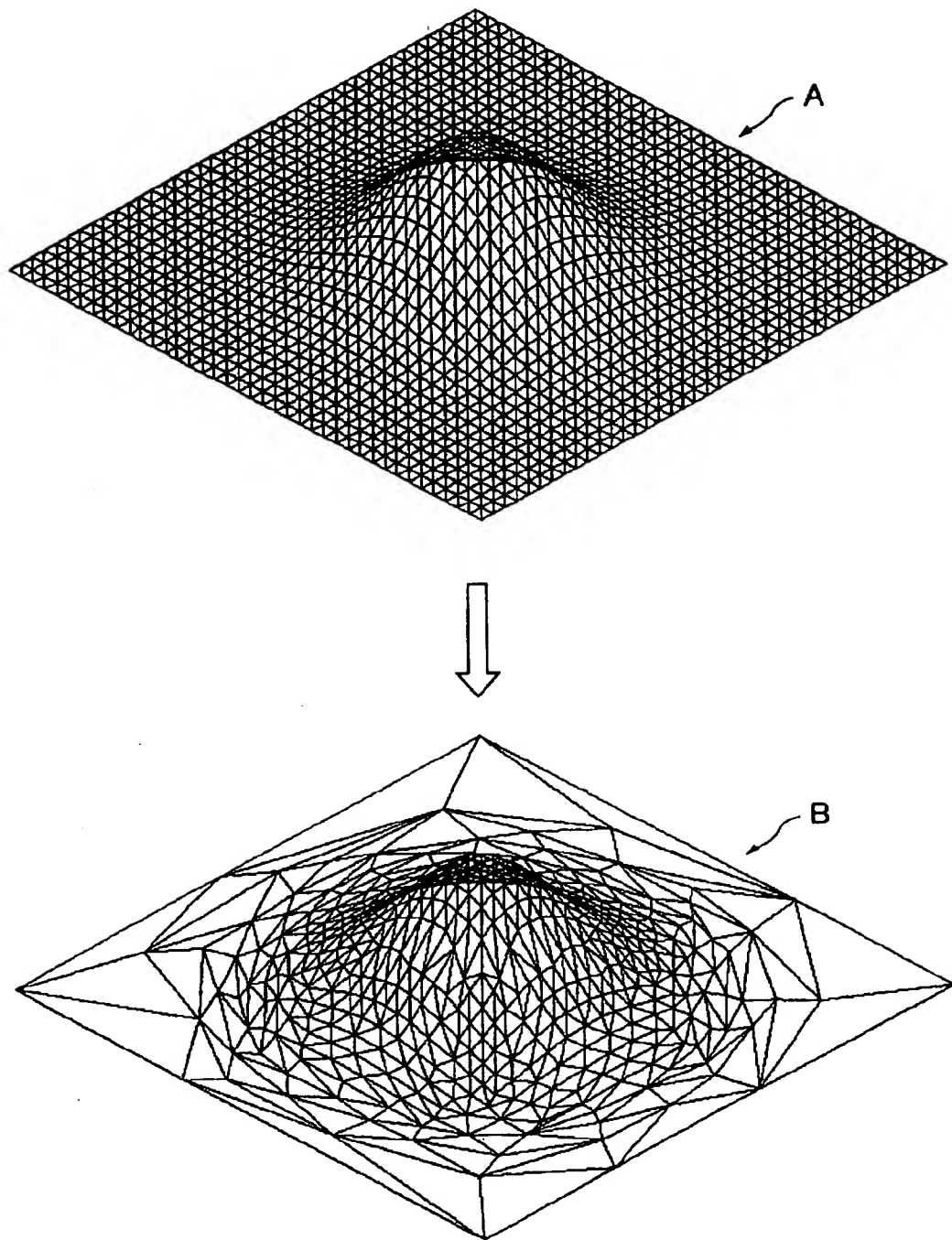
【図 1】



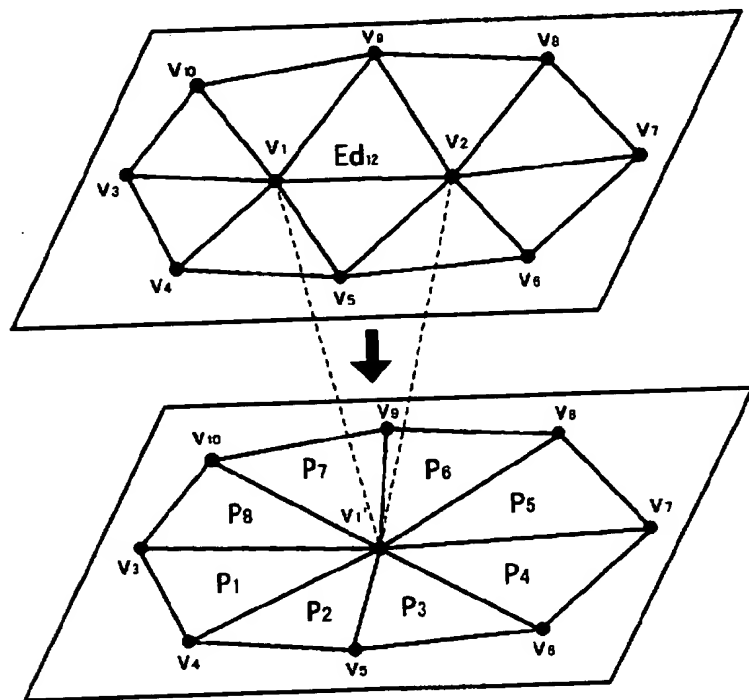
【図 2】



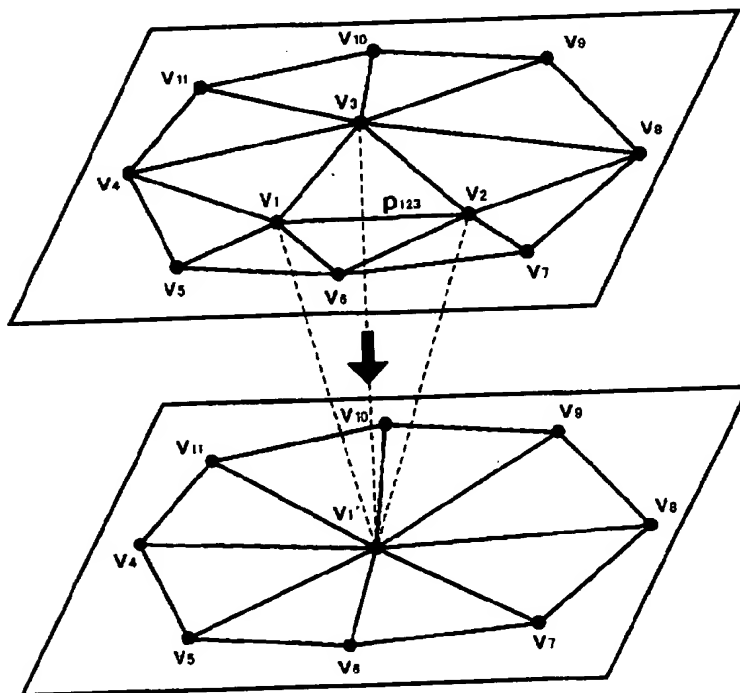
【図 3】



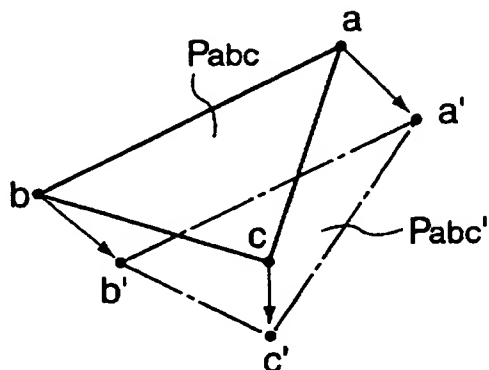
【図 4】



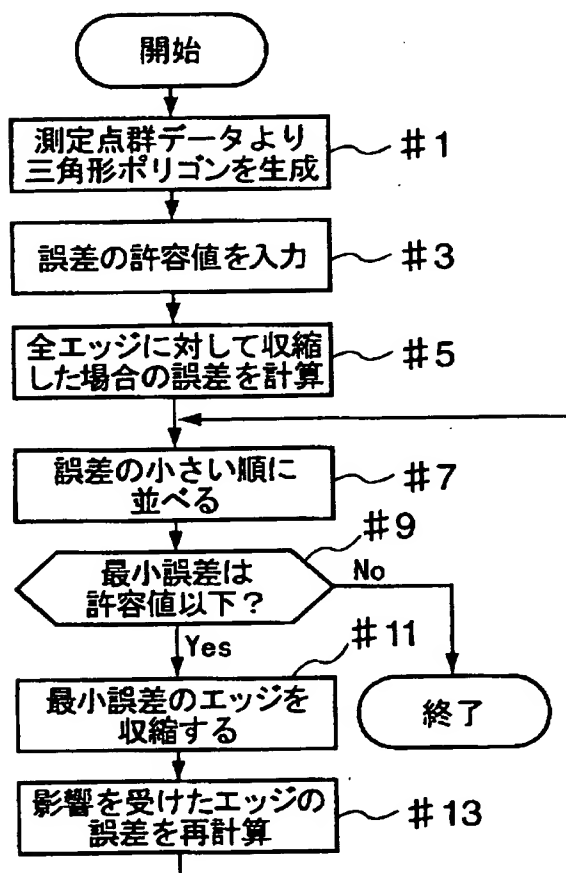
【図 5】



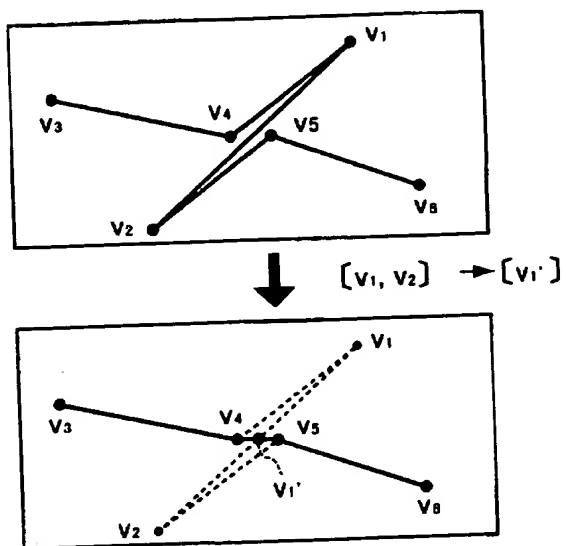
【図 6】



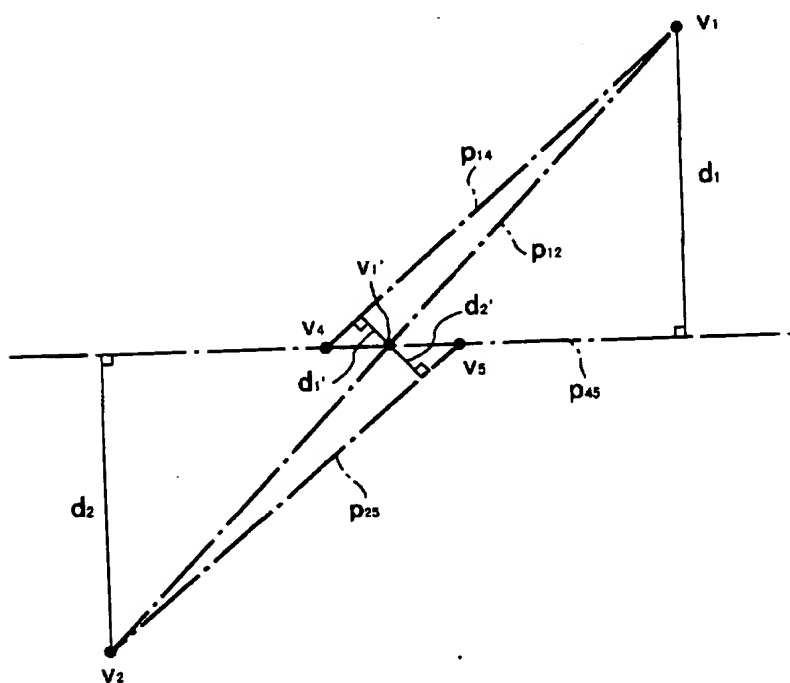
【图 7】



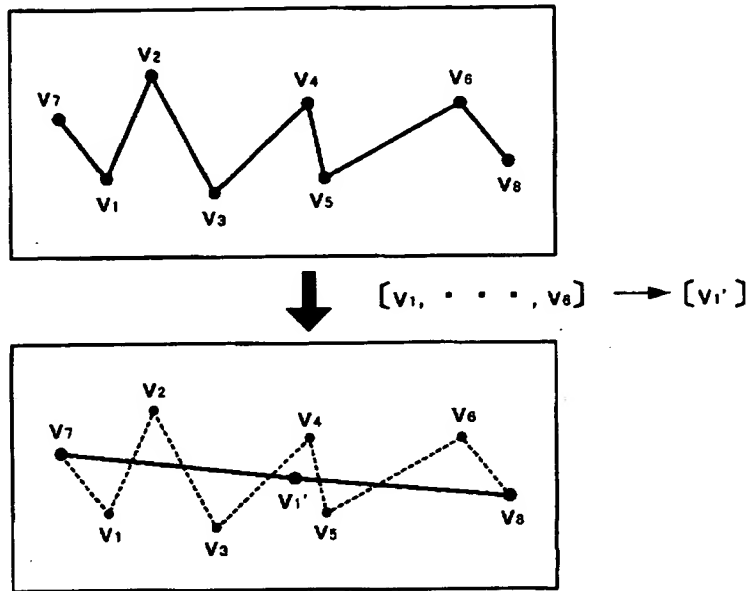
【図 8】



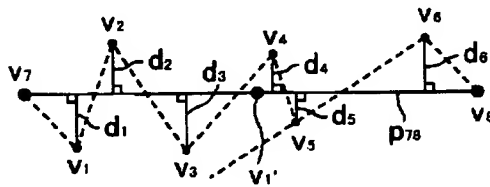
【図 9】



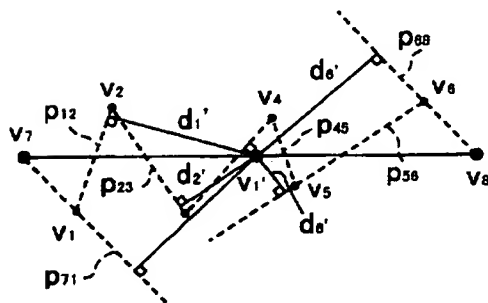
【図 1 0】



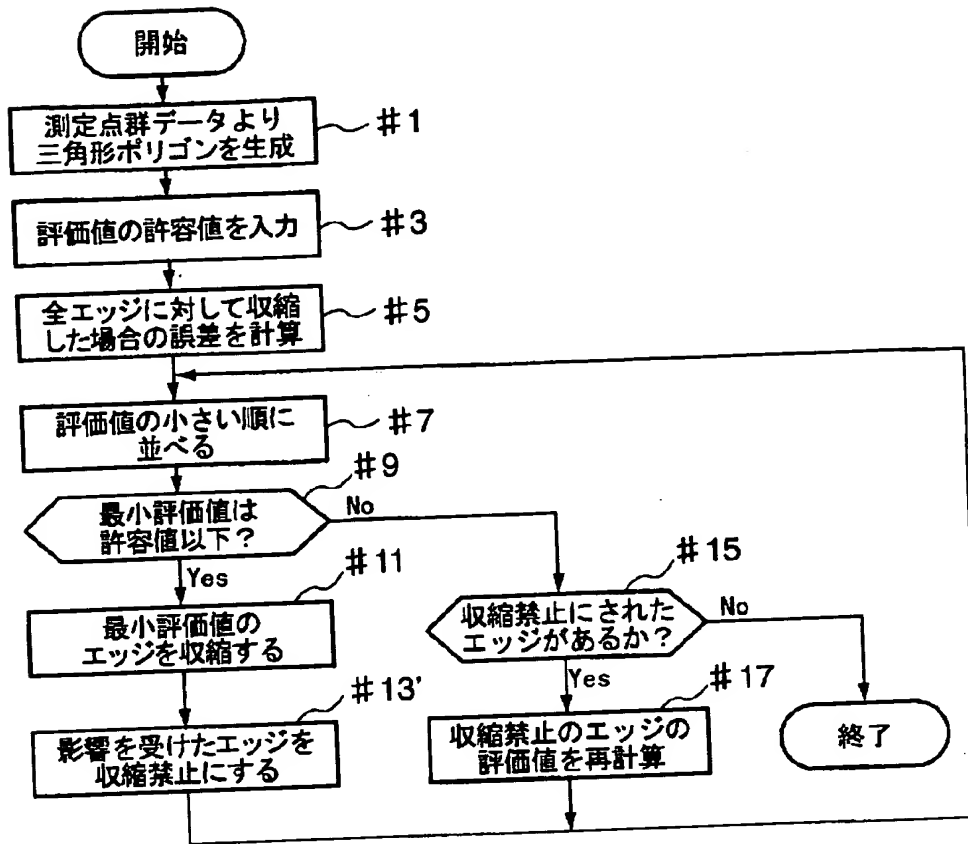
【図 1 1】



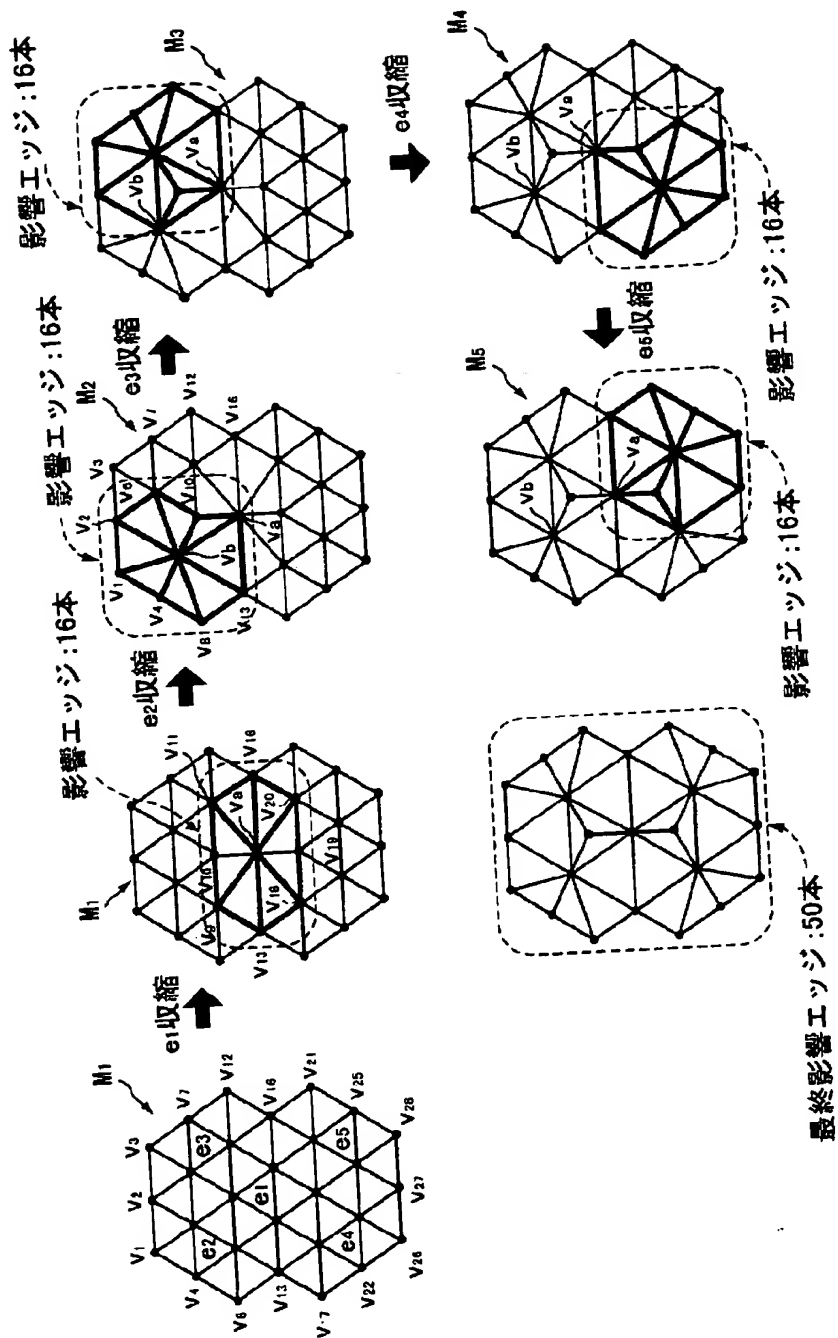
【図 1 2】



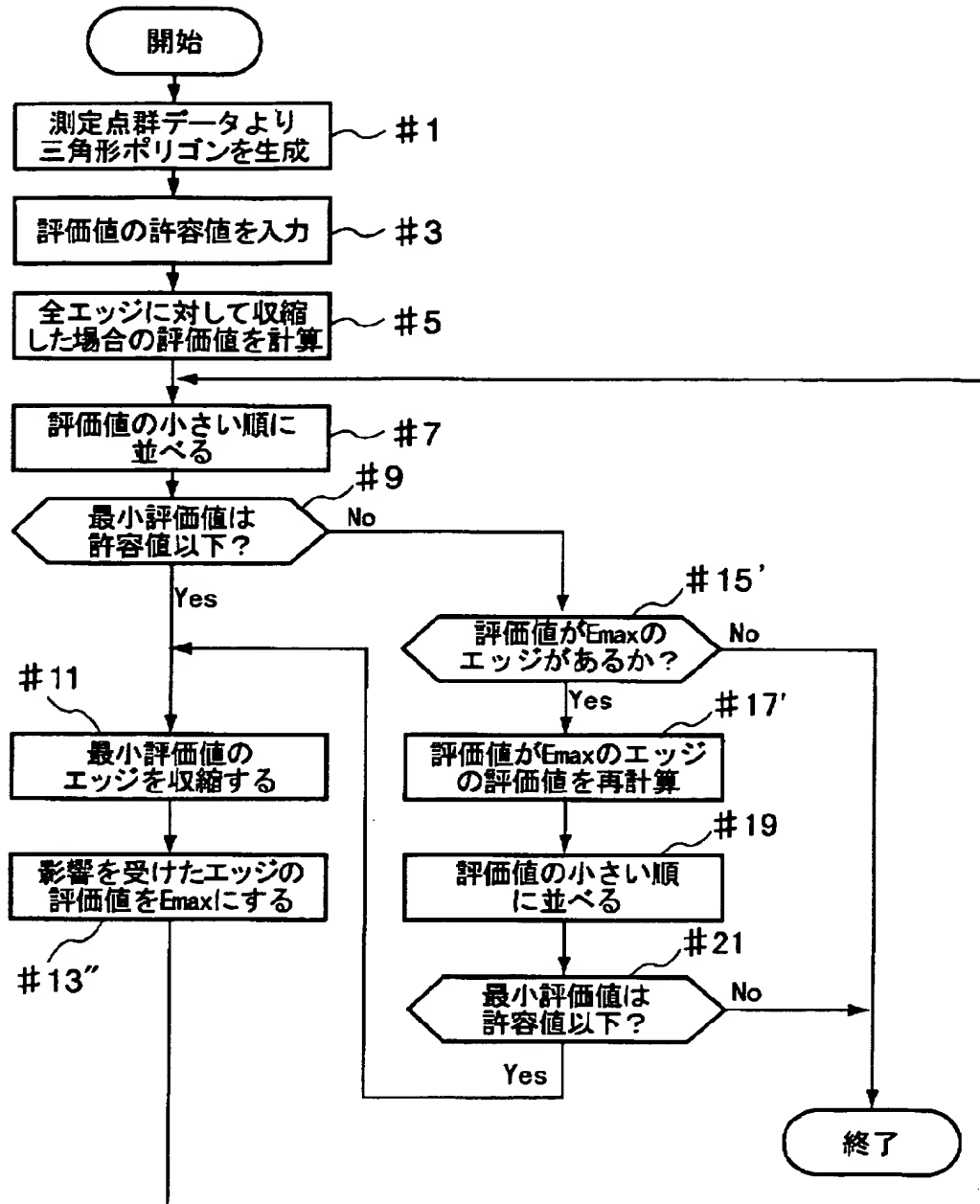
【図 1 3】



【図 14】



【図 1 5】



但し、評価値Emaxは、許容値より大きな値

【書類名】 要約書

【要約】

【課題】 エッジもしくは面を収縮してポリゴンモデルの三次元形状データのデータ数を削減する処理の効率化を図る。

【解決手段】 三次元形状計測装置 1 で計測された三次元形状データは 2 個以上のデータを 1 個のデータに集結してポリゴンモデルのエッジを収縮することによりデータ数が削減される。評価値演算部 3 2 1 でエッジ収縮による誤差を評価する所定の評価値が算出され、評価値が許容値以下であるとき、エッジ／面収縮処理 3 2 3 でその評価値に対応するエッジ収縮が行なわれる。次のエッジ収縮処理ではエッジ収縮により影響を受けたエッジの収縮処理が禁止され、それ以外のエッジについてのみエッジ収縮処理が行われる。これにより、エッジ収縮により影響を受けた部分の評価値の再計算回数が低減され、データ削減処理の高速化が可能になる。

【選択図】 図 1

出 願 人 履 歴 情 報

識別番号 [000006079]

1. 変更年月日	1994年 7月20日
[変更理由]	名称変更
住 所	大阪府大阪市中央区安土町二丁目3番13号 大阪国際ビル
氏 名	ミノルタ株式会社